

10011 037 12918

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP03/12918

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 12 FEB 2004	
WIPO	PCT

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 56 750.6

**Anmeldetag:** 05. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** SMS Demag AG, Düsseldorf/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozess-  
regelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung  
und/oder Wärmebehandlung von Metall

**IPC:** B 21 B 37/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. November 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Schmidt C.

04. DEZ. 2002

39 706

**SMS Demag AG, Eduard-Schloemann-Str. 4, 40237 Düsseldorf**

**Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall, insbesondere von Stahl oder Aluminium, wobei die Anlage mit Stellgliedern zur Einstellung bestimmter Betriebsparameter ausgerüstet ist und dem Verfahrensprozess ein Verfahrensmodell zugrundeliegt.

Unter Betriebsparameter werden beispielsweise die Walzenanstellungen in einer Walzstrecke oder die Kühlparameter in einer Kühlstrecke verstanden.

Aus der DE 199 41 600 A1 sowie aus der DE 199 41 736 A1 sind Verfahren zur Prozessführung und Prozessoptimierung beim Warmwalzen von Metall bekannt, wobei die vom heißen Metall emittierte elektromagnetische Strahlung als Spektrum online erfasst und ausgewertet wird oder wobei die von einem Röntgenstrahler emittierte elektromagnetische Strahlung des Metalls, hier ein Metallband, durchdringt und auf der Rückseite des Metallbandes online erfaßt und ausgewertet wird, mit der Auswertung kristallografische und/oder Gefügeumwandlungen und/oder chemische Umwandlungen, die bei bestimmten Temperaturen des Metalles erfolgen, ermittelt werden und in Abhängigkeit vom Umwandlungsgrad bzw. vom Umwandlungsverlauf geeignete Prozesssteuer- und/oder Prozessregelgrößen

ßen zur Prozeßoptimierung abgeleitet werden und/oder eine online Adaption der Prozessmodelle durchgeführt wird.

Es ist ebenfalls bekannt, die Prozesssteuerung alleine mittels Gefügemodellen vorzunehmen. Nach der WO 99/24182 sollen die Betriebsparameter einer hütten-technischen Anlage zur Behandlung von Stahl oder Aluminium mittels eines Gefügeoptimierers in Abhängigkeit der gewünschten Materialeigenschaften des Metalls bestimmt werden. Mittels eines Gefügebeobachters werden die zu erwartenden Material- und Gebrauchseigenschaften ermittelt. Es folgt ein Vergleich zwischen Sollwerten und den von dem Gefügebeobachter ermittelten Werten für die Material- und Gebrauchseigenschaften. Sofern eine Differenz zwischen den beobachteten bzw. berechneten und den ermittelten Werten vorliegt, werden die Betriebsparameter, wie Eingangs- und Ausgangstemperatur der Walzstrecke sowie die Reduktionsgrade, verändert.

In der WO 99/24182 sind zudem die Veränderungen des Gefüges von Stahl beim Walzen erläutert, während die DE 199 41 600 A1 bzw. DE 199 41 736 A1 die  $\gamma$ - $\alpha$ -Gefügeumwandlung von Stahl beschreiben.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall, insbesondere von Stahl oder Aluminium, bereitzustellen, mit dem es möglich ist, online gewünschte Gefügebesonderheiten und unter Verwendung von Gefüge-Eigenschaftsrelationen gewünschte Werkstoffeigenschaften gezielt einzustellen.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterentwicklungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Verfahrensgemäß wird vorgeschlagen, dass online mindestens ein aktueller, für das Gefügeverhalten aussagekräftiger Wert über Methoden der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung erfasst und in Abhängigkeit dieses Wertes geeignete Prozesssteuerung- und/oder Prozessregelgrößen zur Einwirkung auf die Anlagenstellglieder ermittelt werden unter Verwendung eines Gefügemodells, das die während der Umformung, Kühlung oder Wärmebehandlung ablaufenden Festkörperreaktionen beschreibt, sowie des dem Prozess zugrundeliegenden Verfahrensmodells, das zur Sicherstellung des automatisierten Prozessablaufes dient. Hierzu wird der erfasste aktuelle Ist-Gefügekennwert mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen und ein sich ergebender Differenzwert als Regelungsgröße für den Prozess unter Nutzung von Gefüge- und Verfahrensmodellen verwendet.

Die Aufgabe wird durch gezielte Verknüpfung von Gefüge- und Verfahrensmodellen mit Methoden der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung gelöst, so dass eine online Gefügesteuerung möglich wird. Verfahrensgemäß sollen die Vorhersagemodelle ein Gefügemodell einschließen, d.h. ein Prognosemodell zur Vorhersage der während der Umformung, beispielsweise im Walzwerk, oder einer Abkühlung in der Kühlstrecke ablaufenden Festkörperreaktionen und der sich dabei einstellenden Gefügebesonderheiten.

Vorzugsweise wird hierzu der für das Gefüge aussagekräftige erfasste Wert mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen und die Differenz zur online-Steuerung unter Verwendung des Gefüge- und des Verfahrensmodells (beispielsweise ein Stichplanmodell oder Kühlstreckenmodell) genutzt. Dadurch wird es möglich, die gewünschten Gefügebesonderheiten ganz gezielt anzusteuern und unter Verwendung von Gefüge-Eigenschaftsrelationen auch die Werkstoffeigenschaften einzustellen.

Als der für das Gefüge aussagekräftige Wert wird vorzugsweise ein aktueller Gefügekorngrößen-Wert und/oder ein Gefügeumwandlungs-Zeitpunkt oder das Gefügeumwandlungs-Zeitintervall erfasst.

Die Erfassung des aktuellen Gefügekennwertes, insbesondere eines Gefügekorngrößen-Wertes, erfolgt bevorzugt mittels Geräten der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, wie mittels Ultraschallmessgeräten, und hier insbesondere lasergenerierten Ultraschallmessgeräten, sowie Röntgengeräten.

Für die Erfassung der Gefügeumwandlung sollen vorzugsweise das Metall berührende Meßeinrichtungen zur Anwendung kommen. Hierunter fallen Walzkraftmessgeräte sowie Messrollen zur Erfassung von auf das Metallband wirkenden Dehn- und Zugspannungen bei der Umformung. Die mit der  $\gamma$ - $\alpha$ -Umwandlung verbundene Längendehnung des metallischen Stahlgitters kann somit als Maß für die Gefügeumwandlung über diese berührenden Messgeräte erfasst werden.

Nach einer weiteren Ausführungsform wird die Umwandlungstemperatur als der für das Gefüge aussagekräftige Wert mittels mindestens einer Temperatur-Erfassungseinheit online erfasst, die jeweils längs zur Metallförderrichtung relativ beweglich angeordnet ist und in Abhängigkeit des zu erwartenden Ortes der Gefügeumwandlung, der nach dem Gefügemodell vorhergesagt wird, positioniert wird. Vorzugsweise sind mehrere Temperatur-Erfassungseinheiten vorgesehen.

Nachfolgend wird das vorgeschlagene Verfahren anhand von bevorzugten Ausführungsformen näher beschrieben.

Für die Stahlgruppe eines C-Mn-Stahles erfolgt unter Anwendung von Gefügemodellen, ausgehend von der chemischen Zusammensetzung, und unter Berücksichtigung des Stichplans im Walzwerk eine Vorausberechnung der Austenitkorngröße

des Gefüges des bearbeiteten Metalls zu einem bestimmten Verfahrenszeitpunkt bzw. an einem bestimmten Ort im Prozess. Es wird online - in diesem Fall bei einem Walzprozess - hinter dem letzten Walzgerüst der Walzstraße die aktuelle Austenitkorngröße des metallischen Gefüges berührungslos bzw. zerstörungsfrei erfasst. Der aktuell erfasste Austenitkorngrößenwert wird mit einem vorgegebenen Sollwert für die Größe des Austenitkorns des Gefüges an dieser Stelle im Prozess verglichen. Tritt eine Abweichung zwischen dem Ist- und dem Sollwert auf, wird aus dem Differenz-Wert ein Korrekturwert zur Steuerung der Stellglieder der Anlage, hier der Walzstraße, unter Nutzung des Gefüge- und Verfahrensmodells, das der Walzstraße zugrundeliegt, abgeleitet und den Stellgliedern entsprechend aufgegeben. Ist beispielsweise die gemessene Austenitkorngröße kleiner als ein Sollwert, wird ein Korrekturwert auf die Stellglieder für die Zwischengerüstkühlung der Walzstraße aufgegeben, um die Zwischengerüst zu reduzieren und somit eine Erhöhung der Endwalztemperatur zu erreichen. Durch Erhöhung der Endwalztemperatur wird eine größere Korngröße des austenitischen Gefüges am Ende der Walzstraße eingestellt. Da bereits geringfügige Änderungen der Endwalztemperatur die Austenitkorngröße signifikant beeinflussen, wirkt die Steuerung bzw. Regelung der Anlage noch auf das aktuell behandelte Metallband oder Blech zurück, d.h. die Einstellung der Korngröße auf den Sollwert ist noch am gleichen Band möglich.

Bei einer weiteren bevorzugten Verfahrensvariante erfolgt die online-Erfassung des aktuellen, für das Gefügeverhalten aussagekräftigen Wertes während des Prozesses der Metallbearbeitung durch Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung, an einem bestimmten Punkt, d.h. am Gerüst (n) oder Stich (n) mit einer gezielten Steuerung der Prozeßparameter für die vorherigen Gerüste (n-1) oder Stiche (n-1) in Abhängigkeit des vorgenommenen Ist-Soll-Wertvergleiches.

Es wird beispielsweise die Gefügekorngöße des Metallbandes bzw. Metallbleches vor der Umformung im Gerüst (n) einer Warmbreitbandstraße oder vor der Um-

formung im Stich (n) einer Grobblechstraße erfasst, beispielsweise mit einem Ultraschallgerät. Bei einer zu großen Abweichung des Istwertes von einem Sollwert erfolgt eine neue Berechnung des Verfahrensmodells, insbesondere des Stichplanmodells, und des Gefügemodells mit Auswirkungen auf die Steuersignale für die Stellglieder der vorherliegenden Gerüste oder die Stellglieder zur Durchführung der vorherigen Stiche, so dass die gewünschte Sollgröße erreicht werden kann. Die Umstellung der vorherigen Gerüste kann schon für das aktuelle gewalzte Band oder Blech online erfolgen und/oder für das nachfolgende Band oder Blech genutzt werden.

Nach einer weiteren bevorzugten Verfahrensvariante erfolgt eine online-Gefügesteuerung in einer Kühlstrecke einer Drahtstraße mit einer Wasserkühlstreckenteil und einem Luftkühlstreckenteil, indem ein aktueller Gefügekorngrößen-Wert, hier die Austenitkorngröße, des Metalldrahtes nach Durchlaufen der Wasserkühlstrecke mittels einer Ultraschallmesseinrichtung erfasst und die Temperatur einer Gefügeumwandlung sowie der zeitliche Verlauf der Gefügeumwandlung, insbesondere der  $\gamma$ - $\alpha$ -Umwandlung, mit in Transportrichtung bewegbaren und/oder unterschiedlich ausrichtbaren Temperaturmesseinrichtungen erfasst wird. Sofern die erfassten Werte von den geplanten Sollwerten abweichen, erfolgt eine neue Berechnung unter Nutzung der Kühlstrecken- und Gefügemodelle sowie online eine entsprechende Einstellung der Stellglieder der Kühlstrecke.

Die vorgeschlagene online Gefügesteuerung - und -regelung findet nicht nur Verwendung auf Warmbreitband, ggf. auch Dünnbrammenwalz-, Grobblech-, Profil-, Stabstahl- und Drahtstraßen, sondern auch bei Kaltband- und Aluminiumstraßen.

04. DEZ. 2002

39 706

SMS Demag AG, Eduard-Schloemann-Str. 4, 40237 Düsseldorf

**Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall**

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall, wobei die Anlage mit Stellgliedern zur Einstellung bestimmter Betriebsparameter ausgerüstet ist und dem Verfahrensprozess ein Verfahrensmodell zugrundeliegt, wobei online mindestens ein aktueller, für das Gefügeverhalten aussagekräftiger Wert mit Methoden der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung erfasst und in Abhängigkeit dieses Wertes geeignete Prozesssteuerung- und/oder Prozessregelgrößen zur Einwirkung auf die Stellglieder zur Einstellung gewünschter Gefügeeigenschaften des Metalls ermittelt werden unter Nutzung eines Gefügemodells sowie des dem Prozess zugrundeliegenden Verfahrensmodells.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der für das Gefüge aussagekräftige erfasste Wert mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen wird und die Differenz zur online-Steuerung unter



Verwendung des Gefüge- und des Verfahrensmodells genutzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass als der für das Gefüge aussagekräftige Wert ein aktueller Gefüge-  
korngrößen-Wert erfasst wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass als Gefügekorngrößen-Wert die Austenitkorngröße bestimmt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass ein aktueller Gefügekorngrößen-Wert am Ende der Anlage zur Um-  
formung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall erfasst wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass ein aktueller Gefügekorngrößen-Wert während des Prozesses zur  
Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall erfasst wird  
und die in Abhängigkeit dieses Wertes ermittelten Prozesssteuerungs- oder  
Prozessregelungsgrößen auf die Stellglieder vorherig durchlaufender Pro-  
zessschritte zurückwirkt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass als der für das Gefüge aussagekräftige Wert ein Gefügeumwand-  
lungs-Zeitpunkt oder das Gefügeumwandlungs-Zeitintervall mittels das Me-  
tall berührenden Meßeinrichtungen online erfasst wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass als der für das Gefüge aussagekräftige Wert die Umwandlungstemperatur mittels mindestens einer Erfassungseinheit online erfasst wird, die jeweils längs zur Metallförderrichtung relativ beweglich angeordnet ist und in Abhängigkeit des zu erwartenden Ortes der Gefügeumwandlung, der nach dem Gefügemodell vorhergesagt wird, positioniert wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass mittels mehrerer Erfassungseinheiten jeweils der Ort oder das Zeitintervall des Beginns und des Endes der Gefügeumwandlung erfasst wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass eine online-Gefügesteuerung in einer Kühlstrecke einer Drahtstraße mit einer Wasserkühlstreckenteil und einem Luftkühlstreckenteil erfolgt, wobei ein aktueller Gefügekorngrößen-Wert des Metalldrahtes nach Durchlaufen der Wasserkühlstrecke mittels einer Ultraschallmesseinrichtung erfasst wird und wobei die Temperatur einer Gefügeumwandlung sowie der zeitliche Verlauf der Gefügeumwandlung, insbesondere der  $\gamma$ - $\alpha$ -Umwandlung, mit in Transportrichtung bewegbaren und/oder unterschiedlich ausrichtbaren Temperaturmesseinrichtungen erfasst wird.

04. DEZ. 2002

39 706

**SMS Demag AG, Eduard-Schloemann-Str. 4, 40237 Düsseldorf**

**Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall**

Um ein Verfahren zur Prozesssteuerung oder Prozessregelung einer Anlage zur Umformung, Kühlung und/oder Wärmebehandlung von Metall, , insbesondere von Stahl oder Aluminium, wobei die Anlage mit Stellgliedern zur Einstellung bestimmter Betriebsparameter ausgerüstet ist und dem Verfahrensprozess ein Verfahrensmodell zugrundeliegt, bereitzustellen, mit dem es möglich ist, online gewünschte Gefügebesonderheiten und unter Verwendung von Gefüge-Eigenschaftsrelationen gewünschte Werkstoffeigenschaften gezielt einzustellen, sollen online mindestens ein aktueller, für das Gefügeverhalten aussagekräftiger Wert mit Methoden der Werkstoffprüfung erfasst und in Abhängigkeit dieses Wertes geeignete Prozesssteuerungs- und/oder Prozessregelgrößen zur Einwirkung auf die Stellglieder zur Einstellung gewünschter Gefügeeigenschaften des Metalls ermittelt werden unter Nutzung eines Gefügemodells sowie des dem Prozess zugrundeliegenden Verfahrensmodells.